

Laser cutting - has colinear beam bundles with different focussing and rapid cyclic changes between the beams

Patent Number: DE4034745
Publication date: 1991-07-18
Inventor(s): STAUPENDAHL GISBERT DR (DE); POEHLER MANFRED DR (DE)
Applicant(s):: UNIV SCHILLER JENA (DE)
Requested Patent: ☐ DE4034745
Application Number: DE19904034745 19901030
Priority Number(s): DD19890334030 19891030
IPC Classification: B23K26/02
EC Classification: B23K26/02
Equivalents: ☐ DD288933

Abstract

To give laser working with dynamic focussing, using two colinear bundled beams with variable beam dias. or divergence, according to application the two bundled beams (12,13) are focussed (14) to give a striking zone (16) at the workpiece (17) with different characteristics for each of the beams. Each beam can have a different focus dia. or focussed point, or both. The material working process is a series of rapid working cycles, separated from each other.

ADVANTAGE - Designed partic. for laser cutting of ferrous materials, using a CO2 high power laser, it gives a clean cutting action without slag build-up and can be used for working thick materials with very sensitive cutting parameters.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 **Offenlegungsschrift**
①0 **DE 40 34 745 A 1**

⑥1 Int. Cl.⁵:
B 23 K 26/02

②1 Aktenzeichen: P 40 34 745.1
②2 Anmeldetag: 30. 10. 90
④3 Offenlegungstag: 18. 7. 91

DE 40 34 745 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1
30.10.89 DD WP H 01 P/334030

⑦1 Anmelder:
Friedrich-Schiller-Universität Jena, O-6900 Jena, DE

⑦2 Erfinder:
Staupendahl, Gisbert, Dr., O-6900 Jena, DE; Pöhler,
Manfred, Dr., O-4090 Halle-Neustadt, DE

⑤4 Verfahren zur Lasermaterialbearbeitung mit dynamischer Fokussierung

⑤7 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Lasermaterialbearbeitung mit dynamischer Fokussierung, das einerseits neuartige technologische Wirkungen ermöglicht und andererseits durch die Vermeidung bzw. Minimierung unerwünschter Nebeneffekte, z. B. beim Laserbrennschneiden von Eisenwerkstoffen, höchste Präzision und Effektivität der Bearbeitung gewährleistet.

Ziel der Erfindung ist eine hohe Gebrauchswertsteigerung einer Lasermaterialbearbeitungsanlage im Hinblick auf Applikationsbreite, Bearbeitungsqualität und Reproduzierbarkeit des technologischen Resultates.

Gemäß der Erfindung wird diese Aufgabe gelöst, indem der Laserstrahl zunächst in einer speziellen Anordnung zur variablen Laserstrahlteilung und Führung der Teilstrahlen in zwei Arbeitsstrahlen mit unterschiedlichen räumlichen Ausbreitungseigenschaften aufgeteilt, diese beiden Teilstrahlen dann kollinear überlagert und anschließend so auf das Werkstück fokussiert werden, daß verfahrensgemäß durch Hin- und Herschalten der Laserleistung zwischen den beiden Teilstrahlen eine dynamische Veränderung der Fokusparameter, insbesondere ihre optimale Anpassung an die Dynamik des Wechselwirkungsvolumens im Werkstück, realisiert werden kann.

DE 40 34 745 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Lasermaterialbearbeitung mit dynamischer Fokussierung, dessen Hauptanwendungsgebiet das Laserschneiden unterschiedlichster Werkstoffe, insbesondere von Metallen, darstellt und das durch die Vermeidung bzw. Minimierung unerwünschter Nebeneffekte, z. B. beim Laserbrennschneiden von Eisenwerkstoffen, der Bildung einer Riefenstruktur an den Schnittflächen und der Bartbildung durch anhaftende Schlacke an der Schnittunterkante, ferner eine Vergrößerung der bearbeitbaren Werkstoffdicke sowie eine Verringerung der Empfindlichkeit des Bearbeitungsprozesses gegen unerwünschte Verschiebungen der Fokussierung höchste Präzision und Effektivität der Bearbeitung gewährleistet und das darüber hinaus einem dem Fräsen analogen definierten Materialabtrag bis in größere Werkstofftiefen mittels Hochleistungslasern neue Perspektiven eröffnet.

Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen, die sich mit dem Einfluß der Fokussierungsparameter auf den Materialbearbeitungsprozeß mit Hochleistungslasern befassen. Generell kann festgestellt werden, daß dabei Variationen der Fokussierung bisher lediglich mit rein mechanischen Mitteln realisiert werden. So kann eine Verbreiterung der Härtespur beim Laserhärten durch transversale Oszillation des Fokus mittels eines Schwingspiegels erreicht werden (vgl. z. B. H. Junge, Dissertation A, Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstoffforschung, Dresden 1987).

Verschiebungen der Fokussierung in Strahlrichtung erfordern bisher eine Verschiebung der gesamten Fokussiereinrichtung, so daß eine schnelle Veränderung der Fokussierung, z. B. deren Anpassung an die Dynamik im Wechselwirkungsvolumen in Zeiten im ms-Bereich, unmöglich ist.

Es wurde gefunden, daß es insbesondere beim Laserbrennschneiden von Eisenwerkstoffen mit CO₂-Hochleistungslasern, einer der häufigsten Laseranwendungen in der Materialbearbeitung, sowohl unerwünschte transversale, d. h. senkrecht zur Strahlausbreitungsrichtung auftretende, als auch longitudinale, d. h. in Strahlausbreitungsrichtung auftretende Effekte gibt.

Zu den longitudinalen Effekten ist generell die hohe Empfindlichkeit des Schneidprozesses gegenüber der Position des Fokus relativ zum Werkstück zu rechnen. Sie muß auf wenige Zehntel mm genau eingehalten werden, damit bei den herkömmlichen Verfahren mit fixierten Fokussierungsparametern reproduzierbare technologische Resultate erzielt werden. Dabei ein Optimum zu finden, ist schwierig, denn die Untersuchungen beweisen, daß bei der Bearbeitung eines Werkstückes der Dicke d

- a) der Prozeßbeginn im allgemeinen am günstigsten bei der Fokussierung direkt auf der Oberseite des Werkstückes erfolgt;
- b) optimale Resultate für den gesamten Schneidprozeß bei einer Fokussierung bei $1/3 d$ innerhalb des Werkstoffes zu erwarten sind und
- c) die unerwünschte Bartbildung durch anhaftende Schlacke an der Unterseite des Werkstückes dann minimal wird, wenn der Fokus bei d , also an der Werkstückunterseite liegt.

Alle bisherigen technischen Lösungen zum Laserschneiden geben sich mit einem Kompromiß bezüglich der Fokussierung, meist mit dem Kompromiß b), zufrieden

und zielen lediglich darauf ab, durch eine auf die unterschiedlichste Weise realisierbare Abstandregelung die Lage des Fokus' relativ zum Werkstück weitgehend konstant zu halten. So werden z. B. in der DE-OS 34 11 140 und der DE-OS 35 21 918 Möglichkeiten zur genauen Ausrichtung des Fokus' sowie in der DS-08 30 37 981 und der US-PS 47 61 534 Varianten der Konstanthaltung der Fokussierung relativ zum Werkstück beschrieben.

Zu den transversalen Effekten, die durch die Wechselwirkung Laserstrahlung—Werkstoff im Fokussierungsvolumen verursacht werden, gehört die Riefenbildung an den Schnittflächen. Dieser Effekt beeinflußt in hohem Maße die Qualität des Laserschneidens, so daß zahlreiche Autoren seine physikalisch-technischen Ursachen untersuchten (vgl. z. B. Arata u. a., Trans. SWRI Vol. 8, No. 2, pp. 15—26 (1979); Schuöcker, Walter in "Laser/Optoelektronik in der Technik", Hsg. W. Waidelich, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo 1986, S. 359—364).

Bisher ist als technische Lösung zur Minimierung der Riefenbildung lediglich eine Optimierung aller Schneidparameter und dabei insbesondere die Verwendung definierter Laserimpulse bekannt (vgl. z. B. J. Powell u. a. Proc. of 3rd Int. Conf. on Lasers in Manufacturing, 3—5 June 1986, Paris, pp. 67—75). Die Fokussierungsparameter werden dabei zeitlich konstant gehalten. Die erreichbaren Verbesserungen der Riefenstruktur sind relativ gering.

Ziel der Erfindung ist die Bereitstellung eines Verfahrens zur Lasermaterialbearbeitung mit dynamischer Fokussierung, um erstens insbesondere beim Laserschneiden, z. B. dem Laserbrennschneiden von Eisenwerkstoffen mit CO₂-Hochleistungslasern, unerwünschte Nebeneffekte, wie die Bildung einer Riefenstruktur an den Schnittflächen und die Bartbildung durch anhaftende Schlacke an der Schnittunterkante, weitgehend zu unterdrücken, zweitens die Dicke der bearbeitbaren Werkstücke zu steigern, drittens die vor allem beim Laserschneiden von Metallen sehr große Empfindlichkeit der Schneidparameter gegen kleinste Schwankungen des Abstandes Fokus—Werkstück zu verringern und viertens auf optimale Weise den flächenhaften definierten Materialabtrag bis in größere Werkstofftiefen zu ermöglichen, so daß in der Summe eine Lasermaterialbearbeitungsanlage im Hinblick auf Bearbeitungsqualität, Reproduzierbarkeit des technologischen Resultates und Effektivität bei geringen zusätzlichen Kosten eine hohe Gebrauchswertsteigerung erfährt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Lasermaterialbearbeitung mit dynamischer Fokussierung zu entwickeln, welches die Bearbeitungsergebnisse herkömmlicher Verfahren, die im allgemeinen auf der Einstellung eines zwar optimierten, aber starren Abstandes des Fokus' relativ zum Werkstück und einer fest vorgegebenen Intensitätsverteilung im Fokussierungsvolumen beruhen, in wesentlichen Parametern, wie Bearbeitungsqualität, Reproduzierbarkeit und maximal bearbeitbare Werkstückdicke dadurch übertrifft, daß die Fokussierungsparameter der Eigendynamik des Wechselwirkungsprozesses Laserstrahlung—Werkstoff im Fokussierungsvolumen weitgehend angepaßt werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß folgendermaßen gelöst:

Es wurde bereits dargelegt, daß die Dynamik im Fokussierungsvolumen, insbesondere hervorgerufen durch die Eigenschaften des Schmelzbades des bearbeiteten Werkstoffes, beim Laserschneiden zu unerwünschten trans-

versalen und longitudinalen Effekten führt. Deren Minimierung einerseits sowie die Erzielung neuartiger technologischer Effekte z. B. bei der Bearbeitung spröder Materialien wie Glas und Keramik und beim definierten flächenhaften Materialabtrag bis in größere Werkstofftiefen andererseits können nach der erfindungsgemäßen Verfahrensweise dadurch erreicht werden, daß die Parameter des Fokus', d. h. sein effektiver Durchmesser, die Intensitätsverteilung über seinen Querschnitt und seine Lage relativ zum Werkstück, zeitlich variabel gestaltet werden, daß eine "dynamische" Fokussierung realisiert wird.

Voraussetzung für eine solche dynamische Fokussierung ist, daß auf die Fokussieroptik der Materialbearbeitungseinrichtung zwei kollineare Strahlenbündel mit je nach Anwendungsfall wahlweise unterschiedlichem Strahldurchmesser oder unterschiedlicher Divergenz oder beidem fallen. Die Erzeugung dieser Strahlenbündel kann vorteilhaft erfolgen mittels einer Anordnung zur variablen Laserstrahlteilung und Führung der Teilstrahlen, insbesondere für CO₂-Hochleistungslaserstrahlung, bei der die Strahlung des Lasers auf einen Modulator fällt, der als Interferometeranordnung mit wahlweise schnell variierbarer Reflektivität ausgebildet ist. Dieser Modulator ist unter einem Winkel zwischen seiner optischen Achse und der Richtung der Laserstrahlung angeordnet, der einerseits so klein ist, daß die Interferenzfähigkeit des Modulatorsystems nur unwesentlich beeinflußt wird und andererseits so groß ist, daß eine unerwünschte Rückkopplung des vom Modulator reflektierten Strahlungsanteils mit dem Laserresonator ohne die Verwendung optischer Hilfsmittel vermieden wird. Dieser reflektierte Strahlungsanteil wird entweder direkt oder über Hilfsspiegel zur Bearbeitungsstelle geleitet. Der transmittierte Strahlungsanteil wird durch die geeignete Anordnung optischer Mittel in seinen räumlichen Ausbreitungseigenschaften, insbesondere seiner Divergenz und seinem Strahldurchmesser, in gewünschter Weise geändert und so durch den Modulator zurückgeschickt, daß sich dieser doppelt-transmittierte Strahl kollinear dem reflektierten Strahl überlagert. Das Leistungsverhältnis zwischen diesen beiden Arbeitsstrahlen kann in von den Parametern des Modulators vorgegebenen Grenzen und mit Frequenzen innerhalb des ebenfalls durch den Modulator vorgegebenen Bereiches beliebig variiert werden. Beide Strahlenbündel werden nun durch die Fokussieroptik so in das Bearbeitungsvolumen fokussiert, daß sie auf Grund ihrer unterschiedlichen räumlichen Ausbreitungseigenschaften entweder unterschiedliche Fokussdurchmesser oder unterschiedliche Fokusslagen oder beides aufweisen. Die dynamische Fokussierung wird durch Hin- und Herschalten der Strahlungsleistung zwischen den beiden Teilstrahlen mittels der Interferometeranordnung erreicht, und das erfindungsgemäße Verfahren läuft nun so ab, daß der gesamte Materialbearbeitungsprozeß aus einer Folge schnell ablaufender einzelner Arbeitszyklen besteht, wobei jeder dieser Arbeitszyklen durch drei Verfahrensschritte charakterisiert werden kann.

Im ersten Verfahrensschritt wird maximal viel Leistung dem Teilstrahl zugeführt, dessen Fokussierparameter optimalen Startbedingungen entsprechen. Bei den meisten Applikationen wird dies eine Lage des Fokus' an der Oberfläche des Werkstückes sein.

Im zweiten Verfahrensschritt erfolgt ein schnelles Umschalten der Laserleistung in den zweiten Teilstrahl in Zeiten, die der Dynamik des Wechselwirkungsvolumens im Werkstoff angepaßt sind, vorzugsweise im

Zeitbereich $10^{-3} \text{ s} \leq \tau \leq 10^{-1} \text{ s}$. Auf Grund der anderen Fokussierungsparameter dieses Teilstrahles können durch ein geeignet gewähltes Zeitregime die Parameter des Fokus dem Wechselwirkungsprozeß so nachgeführt werden, daß die gewünschte untenstehend näher erläuterte Wirkung eintritt.

Im dritten Verfahrensschritt werden durch Rück-schaltung der Laserleistung in den ersten Teilstrahl die Fokussierparameter in Zeiten, die analog dem zweiten Verfahrensschritt, die aber auch wesentlich kürzer sein können, wieder in den Ausgangszustand gebracht.

Während des gesamten Arbeitszyklus' bleibt dabei die in das Wechselwirkungsvolumen eingebrachte Gesamtstrahlungsleistung praktisch konstant, wenn das System der variablen Laserstrahlleistung und Führung der Teilstrahlung weitgehend verlustfrei arbeitet. Die durch die dargestellte Verfahrensweise erzielbaren Wirkungen sollen am Beispiel der transversalen und der longitudinalen Effekte beim Laserschneiden näher erläutert werden.

Nach dem Modell von Arata beruht der transversale Effekt "Riefenbildung" beim Laserbrennschneiden von Eisenwerkstoffen mit CO₂-Hochleistungslasern auf einem in wenigen ms ablaufenden zyklischen Prozeß des "Zündens" der exothermen Reaktion im Fokussvolumen, der raschen Expansion des Schmelzvolumens und der Erstarrung des geschmolzenen Materials, wenn die Reaktionsfront den Bereich des Fokus' verläßt. Anschließend erfolgt wieder die Zündung usw. mit der Folge einer periodischen Riefenstruktur der Schnittfläche. Gemäß der Erfindung wird diesem Pulsieren des Schmelzbades im Fokussvolumen und damit der Riefenbildung dadurch entgegengewirkt, daß der Fokussdurchmesser genau in dem Moment verkleinert wird, wenn das Schmelzbad im Begriff ist zu expandieren. Ist die Expansion abgefangen, wird er wieder etwas vergrößert usw., so daß in der Endkonsequenz durch diese Gegensteuerung eine wesentliche Verringerung der Riefenbildung erreicht wird.

Mehrfach sind die Wirkungen des Verfahrens auf die longitudinalen Effekte.

Es wurde bereits dargelegt, daß für unterschiedliche Erscheinungen beim Laserbrennschneiden von Eisenwerkstoffen unterschiedliche Fokusslagen ein optimales Ergebnis bringen. Da durch das erfindungsgemäße Verfahren innerhalb eines Arbeitszyklus' die Fokusslage zwischen zwei Extrema pendelt, die den jeweiligen Prozeßparametern angepaßt werden können, sind wesentlich günstigere technologische Resultate erzielbar. Dazu gehören ein optimaler Prozeßstart durch Anfangslage des Fokus' an der Oberseite des Werkstückes und minimale Bartbildung infolge anhaftender Schlacke durch Endlage des Fokus' an der Unterseite des Werkstückes.

Die ständige Oszillation des Fokus' zwischen diesen beiden Extremlagen bewirkt als weiteren Effekt eine Verbesserung der Parallelität der Schnittfuge, insbesondere z. B. den Ausgleich periodischer Variationen der Schnittfugenbreite in Strahlrichtung, die auftreten, wenn das Schneidgas bei sehr hohem Druck als Hyper-schallwelle in die Schnittfuge eingekoppelt wird.

Da die Fokusslage praktisch dem Wechselwirkungsprozeß nachgeführt wird, können größere Werkstoffdicken als bei feststehendem Fokus mit der gleichen Laserleistung durchbohrt bzw. getrennt werden.

Die effektive Verlängerung des Fokusschlauches durch die verfahrensgemäße Oszillation der Fokusslage bewirkt ferner, praktisch als einfachste Wirkung, eine geringere Empfindlichkeit des Bearbeitungsprozesses

gegen Schwankungen der relativen Lage Fokus-Werkstück, so daß in einer Reihe von Anwendungsfällen sogar auf eine Abstandsregelung verzichtet werden kann.

Die Erfindung soll nachstehend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden.

In den zugehörigen Zeichnungen zeigt

Fig. 1 eine Anordnungsvariante zur variablen Laserstrahlteilung und Führung der Teilstrahlen mit drei Spiegeln zur Formung und Führung des transmittierten Strahles;

Fig. 2 die Fokussierung zweier Arbeitsstrahlen mit gleicher Divergenz, aber unterschiedlichem Durchmesser in das Wechselwirkungsvolumen;

Fig. 3 die Fokussierung zweier Arbeitsstrahlen mit gleichem Durchmesser, aber unterschiedlicher Divergenz in das Wechselwirkungsvolumen.

In der in Fig. 1 dargestellten Anordnungsvariante zur variablen Laserstrahlteilung und Führung der Teilstrahlen fällt die Strahlung 2 des CO₂-Hochleistungslasers 1 auf die von der Versorgungseinrichtung 4 angesteuerte Interferometeranordnung 3, die vorzugsweise durch den Modulator gemäß DD-WP 2 34 208 gebildet wird. Dessen optische Achse 5 ist unter einem Winkel gegen die Richtung des Laserstrahles 2 geneigt. Der Modulator spaltet diesen Strahl auf in den reflektierten Anteil 6 und den transmittierten Anteil 7, der durch ein von den Spiegeln 8 und 9 gebildetes Teleskop geformt und mittels des justierbaren Spiegels 10 ein zweites Mal durch das FPI geschickt wird. Dieser doppelt-transmittierte Anteil 11 wird dem reflektierten Strahl 6 kollinear überlagert, und beide werden gemeinsam der Arbeitsaufgabe zurückgeführt.

Fig. 2 illustriert die Wirkung des Verfahrens beim Auftreffen zweier Arbeitsstrahlen 12 und 13 mit unterschiedlichem Strahldurchmesser, aber gleicher Divergenz auf die Fokussieroptik 14. Der Strahl 12 mit dem größeren Durchmesser wird auf einen kleineren Brennfleck 15 im Wechselwirkungsvolumen 16 des Werkstückes 17 konzentriert, der Strahl 13 mit dem kleineren Durchmesser erzeugt einen größeren Brennfleck 18.

In Fig. 3 wird die Wirkung des Verfahrens bei Nutzung zweier Arbeitsstrahlen 19 und 20 mit gleichem Durchmesser, aber unterschiedlicher Divergenz veranschaulicht. Der leicht konvergente Strahl 19 erzeugt die Fokusslage 21, der leicht divergente Strahl 20 die Fokusslage 22. Da die Strahldurchmesser am Ort der Fokussieroptik 14 gleich sein sollen und für die Erzeugung einer Differenz der Fokusslagen von wenigen mm — dies ist für die meisten praktischen Anwendungen ausreichend — ein geringer Divergenzunterschied der beiden Strahlen genügt, haben beide Foki annähernd gleichen Durchmesser, wenn mit den z. B. für das Laserbrennschneiden von Eisenwerkstoffen typischen praktikablen Brennweiten der Fokussieroptik 14 in der Größenordnung 100 mm bearbeitet wird.

Aufstellung der verwendeten Bezugszeichen

- 1 CO₂-Hochleistungslaser
- 2 Laserstrahlung
- 3 Interferometeranordnung
- 4 Versorgungseinrichtung der Interferometeranordnung
- 5 Optische Achse des Interferometers
- 6 Reflektierter Anteil der Laserstrahlung
- 7 Transmittierter Anteil der Laserstrahlung
- 8 Teleskopspiegel

- 9 Teleskopspiegel
- 10 Justierbarer Umlenkspiegel
- 11 Doppelt-transmittierter Anteil der Laserstrahlung
- 12 Arbeitsstrahl mit größerem Durchmesser
- 13 Arbeitsstrahl mit kleinerem Durchmesser
- 14 Fokussieroptik
- 15 Kleinerer Brennfleck
- 16 Wechselwirkungsvolumen
- 17 Werkstück
- 18 Größerer Brennfleck
- 19 Konvergenter Arbeitsstrahl
- 20 Divergenter Arbeitsstrahl
- 21 obere Fokusposition
- 22 untere Fokusposition

Patentanspruch

Verfahren zur Lasermaterialbearbeitung mit dynamischer Fokussierung, bei welchem auf die Fokussieroptik einer Materialbearbeitungseinrichtung zwei kollineare Strahlenbündel mit je nach Anwendungsfall wahlweise unterschiedlichem Strahlungsdurchmesser oder unterschiedlicher Divergenz oder beidem fallen, **dadurch gekennzeichnet**, daß mittels der Fokussieroptik (14) die beiden Strahlenbündel (12, 13) bzw. (19, 20) so in das Bearbeitungsvolumen (16) fokussiert werden, daß auf Grund ihrer unterschiedlichen räumlichen Ausbreitungseigenschaften beide Teilstrahlen entweder unterschiedliche Fokussdurchmesser oder unterschiedliche Fokusslagen oder beides aufweisen und der gesamte Materialbearbeitungsprozeß aus einer Folge schnell ablaufender einzelner Arbeitszyklen besteht, wobei solch ein einzelner Arbeitszyklus dadurch realisiert wird, daß

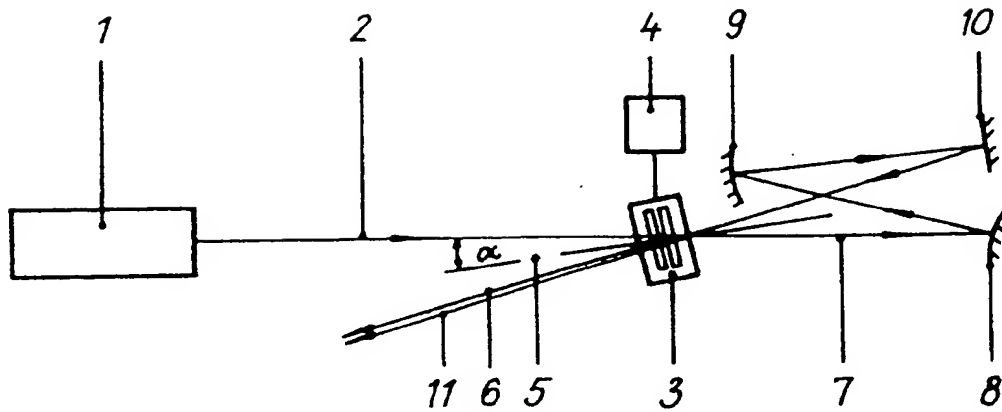
im 1. Verfahrensschritt maximal viel Leistung einem der beiden Teilstrahlen zugeführt wird, im allgemeinen wird dies der Teilstrahl sein, dessen Fokussierparameter optimalen Startbedingungen entsprechen;

im 2. Verfahrensschritt ein schnelles Umschalten der Laserleistung in den zweiten Teilstrahl in Zeiten, die der Dynamik des Wechselwirkungsvolumens im Werkstoff angepaßt sind, vorzugsweise im Zeitbereich $10^{-3} \text{ s} \leq \tau \leq 10^{-1} \text{ s}$, erfolgt und

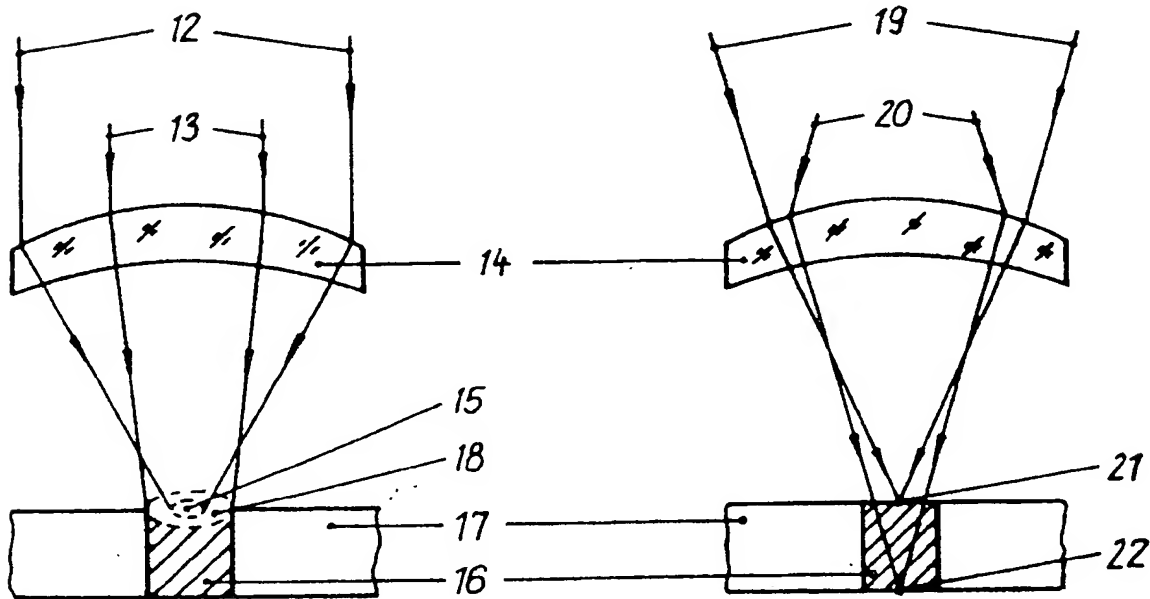
im 3. Verfahrensschritt durch Rückschaltung der Laserleistung in den ersten Teilstrahl die Fokussierparameter in Zeiten, die analog dem 2. Verfahrensschritt, die aber auch wesentlich kürzer sein können, wieder in den Ausgangszustand gebracht werden.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

— Leerseite —



Figur -1-



Figur -2-

Figur -3-

German → English File Number: P 40 34 745 1

Stoel Rives LLP

19 FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY

[Crest] 12 Offenlegungsschrift

[Unexamined Published Patent Application]

51 Int. Cl.5:

B 23 K 26/02

GERMAN PATENT OFFICE

10 DE 40 34 745 A 1

21 File: P 40 34 745 1

22 Date filed: 30 Oct. 1990

43 Date published: 18 July 1991

30 Union priority: 32 33 31

30 Oct. 1989 DD WP H 01 P/334030

72 Inventor:

Staudendahl, Gisbert, Dr., O-6900 Jena, DE; Pöhler,

Manfred, Dr., O-4090 Halle-Neustadt, DE

71 Applicant:

Friedrich Schiller University Jena, O-6900 Jena, DE

54 Process for performing laser operations on materials
utilizing dynamic focusing.

57 The invention relates to a process for performing laser

operations on materials utilizing dynamic focusing, wherein said process permits novel technological effects and avoids or minimizes undesirable side effects. For example, when ferrous materials are laser-cut, the operation achieves maximum precision and effectiveness.

The object of the invention is to greatly improve the performance of an apparatus for undertaking laser operations on materials - i.e., to improve the range of applications, the processing quality, and the reproducibility of the technological result.

The invention achieves this object by first splitting the laser beam in a special apparatus for variable laser beam splitting and guiding the partial beams in two working beams, each having different spatial distribution characteristics, superimposing these two partial beams collinearly, and finally focusing them on the workpiece so that in the claimed process the laser power is switched back and forth between the two partial beams producing a dynamic change in the focus parameters, specifically adapting them optimally to the dynamics of the interactive

volume in the workpiece.

GERMAN FEDERAL PRINTING OFFICE

05/91

108 029/321

6/60

[Column 1] Description

The invention relates to a process for performing laser operations on materials utilizing dynamic focusing. The main application is laser-cutting of a wide range of materials, specifically metals. Undesirable side effects are thereby avoided or minimized - for example, when ferrous materials are cut with a laser, the formation of a grooved structure on the cut surfaces and the formation of beard caused by slag deposits adhering to the bottom edge of the cut, as well as an increase in the thickness of the material being processed and a decrease in the sensitivity of the process to unwanted shifts in the focusing position. This allows the operation to achieve the utmost precision and effectiveness; and the use of high-power lasers for the controlled removal of material all the way down to

relatively large material depths - in a process analogous to milling - opens up new possibilities.

A large number of studies investigate the effects of focusing parameters on processes that use high-power lasers to perform operations on materials. In general, it can be concluded that in these studies variations in the focus position are achieved solely by purely mechanical means. In the case of laser-hardening, for example, the width of the hardness track can be achieved by the transverse oscillation of the focus produced by an oscillating mirror (see for example: H. Junge, Dissertation A, Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstofforschung [Central Institute of Solid-State Physics and Material Science], Dresden, 1987).

In the prior art, displacing the focus position in the direction of the laser beam meant that the entire focusing unit had to move physically, thus making it impossible to change the focus position rapidly, for example in order to adapt the focus position to the dynamics of the interactive volume at speeds in the millisecond range.

In particular with laser-cutting of ferrous materials using CO2 high-power lasers - one of the most common uses of lasers to perform operations on materials - it was found that undesirable transverse effects - i.e., those occurring perpendicular to the direction of the laser beam - as well as longitudinal effects - i.e., those occurring in the same direction as the laser beam - resulted.

In general, one of the longitudinal effects is the high sensitivity of the cutting process to the position of focus relative to the workpiece. This position must be precisely maintained to within a few tenths of a millimeter in order to achieve industrially reproducible results in conventional processing using fixed focusing parameters. It is difficult to achieve an optimum since, as the studies reveal, when a workpiece of thickness d is processed:

- a) it is generally best for the process to begin when the focus position lies directly on the top side of the workpiece;
- b) optimal results for the cutting process as a whole are to be expected when the focus position is $1/3 d$ of the

way into the material, and

- c) the undesirable formation of a beard by slag adhering to the underside of the workpiece is minimized when the focus lies at d, i.e. at the bottom surface of the workpiece.

All of the prior-art solutions relating to laser cutting settle on a compromise as regards the focus point, usually compromise b),

[Column 2] and merely attempt to keep the position of focus relative to the workpiece largely constant by controlling the distance to the workpiece by various means. For example, DE-OS 3,411,140 and DE-OS 3,521,918 describe ways to orient the position of focus precisely, while DS 08 30 37 981 and US patent 4,761,534 describe options for keeping the position of focus constant relative to the workpiece.

One of the transverse effects caused by the interaction between the laser beam and the material in the focus volume is the formation of grooves on the cut surfaces. This effect has a major impact on the quality of the laser cutting operation, which is why many authors have

investigated its physical and technological causes (see for example: Arata et al., Trans. SWRI, vol 8, no. 2, pp. 15-26 (1979); Schuöcker, Walter in Laser/Optoelektronik in der Technik, ed. W. Waidelich, Berlin: Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, 1986, pp. 359-364.)

Thus far the only industrial solution to minimizing the formation of grooves that has been disclosed is to optimize cutting parameters and, in particular, to use defined laser pulses (see for example: B. J. Powell et al., Proc. of 3rd Int. Conf. on Lasers in Manufacturing, 3-5 June 1986, Paris, pp. 67-75). In this approach, the focusing parameters are kept constant over time. The improvements in groove structure that can be achieved in this way are relatively small.

The goal of the present invention is to provide a process for performing laser operations on materials utilizing dynamic focusing to first, largely eliminate undesirable side effects, such as the formation of a grooved structure on cut surfaces and the formation of a beard by slag adhering to the bottom edge of the cut, in

laser cutting - for example, laser cutting of ferrous materials using CO2 high-power lasers - and second, to increase the thickness of the workpieces being processed, and third, to reduce the very high degree of sensitivity of cutting parameters to extremely small variations in the distance between the focus and the workpiece, which primarily occurs in laser cutting of metals, and fourth, to optimally permit controlled removal of material on surfaces extending well down into large material depths, so that the overall result is an apparatus for performing laser operations on materials that offers improved performance in terms of processing quality, reproducibility of the technological result, and high effectiveness at low additional costs.

The object of the invention is to develop a process for performing laser operations on materials utilizing dynamic focusing that in key parameters - such as processing quality, reproducibility, and maximum processible workpiece thickness - substantially surpasses the processing results achieved with conventional processes, which are generally

based on setting a distance between the position of focus and the workpiece that, while optimized, is fixed in position, and on a preset, undynamic distribution of intensity in the focus volume. In the invention the end result is that the focusing parameters are largely adjusted to the intrinsic dynamics of the interactive process that occurs between the laser beam and the material in the focus volume.

The invention accomplishes this object as follows:

It has already been explained that the dynamics of the focus volume, which is caused in particular by the properties of the molten pool of the material being processed, results in undesirable transverse and longitudinal effects during laser cutting.

[Column 3]

The process of the invention is able to minimize these effects and to achieve novel technological effects such as the processing of brittle materials such as glass and ceramics and the controlled removal of material on surfaces extending well down into large material depths. In addition, the process of the invention permits "dynamic"

focusing by varying the parameters of focus - i.e. its effective diameter, the distribution of intensity over its cross section, and its position relative to the workpiece - over time.

To achieve this dynamic focusing, two collinear beams, which - depending on the application - may optionally have different beam diameters, or different divergence, or both, enter the focusing optics of the apparatus used to perform operations on the material. These beams may advantageously be produced by a means for variable laser beam splitting and guiding the partial beams, in particular as used for CO2 high-power laser radiation, in which the radiation from the laser falls on a modulator, which is embodied as an interferometer unit whose reflectivity can be varied at a high rate of change. This modulator is disposed at an angle between its optical axis and the direction of the laser beam that is small enough to ensure that the interference capability of the modulator system is not significantly affected and that is large enough to ensure that unwanted feedback from the beam component reflected by the modulator

to the laser resonator is prevented without the use of optical means. This reflected radiation component is guided directly to the location at which processing is to occur, or indirectly to said location by means of auxiliary mirrors. The spatial distribution characteristics of this transmitted radiation component, in particular its divergence and its beam diameter, are modified by disposing optical means in suitable locations, and are returned by the modulator in such a way that this doubly-transmitted beam is collinearly superimposed on the reflected beam. The power ratio between these two working beams can be maintained within limits set by the modulator parameters and can be varied at will at frequencies within a range that is set by the modulator. Both beams are now focused on the processing volume in such a way that, due to their different spatial distribution characteristics, they either have different focus diameters or different focus positions, or both. The dynamic focusing is achieved by switching the laser beam power back and forth between the two partial beams by means of the interferometer unit, and

the entire process for performing operations on materials is comprised of a sequence of rapidly occurring individual working cycles, each of which is characterized by three process steps.

In the first process step, maximum power is sent to the partial beam whose focusing parameters produce optimal starting conditions. In most applications, this means that the focus is positioned at the workpiece surface.

[Column 4] In the second process step, the laser power is rapidly switched to the second partial beam at times that are adapted to the dynamics of the interactive volume in the material, preferably in the time range 10⁻³ ([Greek letter not clearly legible, ed.] ((10⁻¹ ([Greek letter not clearly legible, ed.]). Based on the different focusing parameters of this partial beam, the focus parameters can be controlled to adapt to the interactive process by means of a suitable time regimen so that the desired effect, which is explained in greater detail below, is achieved.

In the third process step the laser power is switched back to the first partial beam to return the focusing

parameters to their initial states at times that are analogous to those of the second process step but may also be significantly shorter.

During the entire working cycle, the total radiation power applied to the interactive volume remains virtually constant if the system for supplying the variable laser power and guiding the partial beam operates in a largely loss-free manner. The effects that can be achieved by the approach described above will now be explained in greater detail as regards the transverse and longitudinal effects that occur with laser cutting.

In the model described by Arata, the transverse effect of "groove formation" that occurs in the laser-cutting of ferrous materials using CO₂ high-power lasers is based on the cyclical process of the "ignition" of the exothermic reaction that occurs in the focus volume within a few milliseconds, followed by the rapid expansion of the volume of molten material, and the solidification of the molten material when the reaction front leaves the focus area. Then the ignition etc. occurs again, which creates a

periodic grooved structure along the cut surface. In the invention, this pulsing of the molten bath that occurs in the focus volume, and thus the formation of grooves, is counteracted by the fact that the focus diameter is reduced at precisely the instant at which the molten bath is beginning to expand. When the expansion is trapped in this way, the focus diameter is increased somewhat, etc., so that the final result is that this counteracting control significantly reduces the formation of grooves.

The process changes the longitudinal effects in various ways.

Above, we described how various focus positions produce optimal results for different phenomena observed during the laser-cutting of ferrous materials. Since in the process of the invention the focus position alternates between two extremes during a working cycle and since these extremes can be adjusted to the given process parameters, significantly improved results can be achieved in manufacturing operations. These include an optimal process start due to the initial position of the focus on the

surface of the workpiece and minimum formation of beard caused by slag adhering to the workpiece as a result of the final position of the focus being placed at the bottom of the workpiece.

The continual oscillation of the focus between these two extreme positions has a further effect: improving the parallelism of the cut structure, for example compensating in particular for periodic variations in the cut structure in the direction of the beam, a phenomenon which occurs when the cutting gas is incorporated at very high pressure as a hypersonic wave in the cut structure.

Since the focus positions can essentially be controlled in response to the interactive process, larger material thicknesses than would be the case with fixed focus can be perforated or separated using the same laser power.

The effective lengthening of the focus column that results from the oscillation of the focus positions that occurs in the process also makes the process less sensitive to

[Column 5] variations in the relative positions of the focus and

workpiece, so that the distance between the focus and the workpiece does not even need to be controlled in a series of applications. This is basically the simplest effect of the lengthening of the focus column.

The invention will be illustrated below based on an example of an embodiment.

The drawing shows:

Fig. 1 - an embodiment of an apparatus for variable laser beam splitting and for guiding the partial beams using three mirrors to form and guide the transmitted beam;

Fig. 2 - the focusing of two working beams having the same divergence but different diameters onto the interactive volume;

Fig. 3 - the focusing of two working beams having the same diameter, but different divergence onto the interactive volume.

In the embodiment of the apparatus shown in Fig. 1 for variable laser beam splitting and for guiding the partial beams, the radiation 2 from the CO₂ high-power laser 1 strikes the interferometer 3 that is controlled by the

supply unit 4. Said interferometer is preferably comprised of the modulator disclosed in DD-WP 2 34 208. Its optical axis 5 is inclined at an angle relative to the direction of the laser beam 2. The modulator splits this beam into the reflected component 6 and the transmitted component 7, which is formed by a telescope produced by mirrors 8 and 9 and by means of an adjustable mirror 10 is sent back through the FPI a second time. This doubly-transmitted component 11 is superimposed collinearly on the reflected beam 6 and both are guided back together to the working process.

Fig. 2 illustrates the effect of the process when two working beams 12 and 13 having different beam diameters but the same divergence strike the focusing optics 14. Beam 12, which has the larger diameter, is concentrated on a smaller focused spot 15 in the interactive volume 16 of the workpiece 17; beam 13, which has a smaller diameter, produces a larger focused spot 18.

Fig. 3 illustrates the effect of the process when two working beams 19 and 20 having the same diameter but

different divergence are used. The slightly convergent beam 19 produces focus position 21; and the slightly divergent beam 20 produces focus position 22. Since the beam diameters should be identical at the location of the focusing optics 14 and since a small difference in divergence between the two beams is sufficient to produce a difference in focus positions of a few millimeters (which is adequate for most practical applications), both foci have nearly the same diameters if the cutting widths in the focusing optics 14 are in the range of 100 mm -- a width that is typical for laser-cutting of ferrous materials.

List of reference numbers:

- 1 CO2 high-power laser
2. Laser radiation
- 3 Interferometer unit
- 4 Supply unit for interferometer unit
- 5 Optical axis of interferometer
- 6 Reflected component of laser radiation
- 7 Transmitted component of laser radiation
- 8 Telescope mirror

- [Column 6]
- 9 Telescope mirror
 - 10 Adjustable deflection mirror
 - 11 Doubly-transmitted component of laser radiation
 - 12 Working beam having the larger diameter
 - 13 Working beam having the smaller diameter
 - 14 Focusing optics
 - 15 Smaller focal point
 - 16 Interactive volume
 - 17 Workpiece
 - 18 Larger focal point
 - 19 Convergent working beam
 - 20 Divergent working beam
 - 21 Upper focus position
 - 22 Lower focus position

What is claimed is:

A process for performing laser operations on materials utilizing dynamic focusing in which two collinear beams, each having different beam diameters or different divergence, or both, land on the focusing optics of a material processing apparatus, wherein by means of the